

# Structural break progression simulation method uses finite element calculation of stress values and triangulation for determining new break front




**Patent number:** DE19927941  
**Publication date:** 2000-12-14  
**Inventor:** DHONDT GUIDO (DE)  
**Applicant:** MOTOREN TURBINEN UNION (DE)

**Classification:**  
- international: **G01N3/02; G01N3/00; G01N3/00;** (IPC1-7): G01M13/00; G01M19/00; G01N3/00  
- european: G01N3/02

**Application number:** DE19991027941 19990620

**Priority number(s):** DE19991027941 19990620

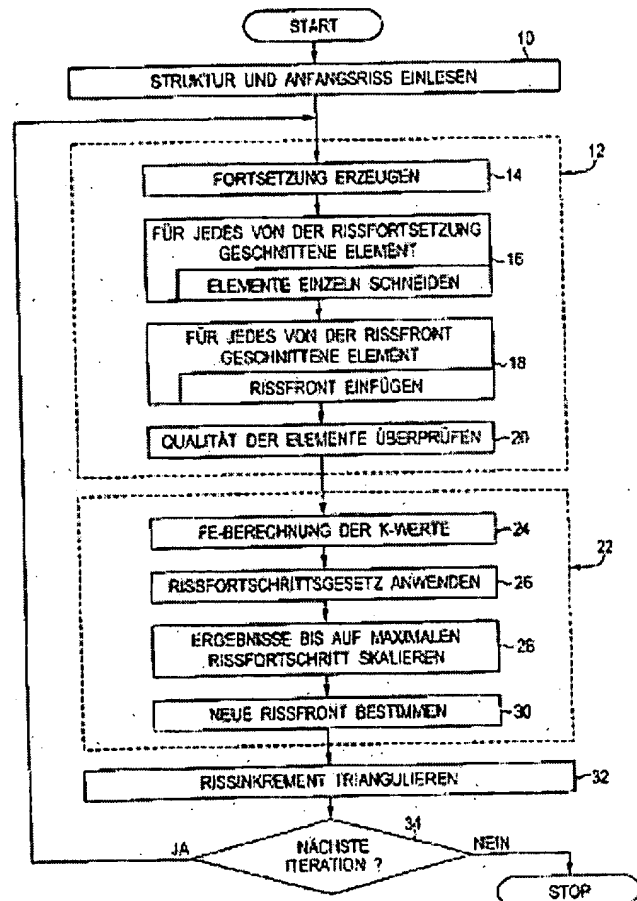
**Also published as:**

 EP1065493 (A1)  
 US6813592 (B1)  
 JP2001034655 (A)

[Report a data error here](#)

## Abstract of DE19927941

The simulation method defines a 3-dimensional structure and the position of an initial break, with calculation of a section through the structure corresponding to the progression of the break and determination of the new break front. Stress values are calculated via a finite element calculation, with triangulation of the further breaks, the calculation process repeated until a required conclusion is reached.





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 10 408 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
G 06 F 17/50

21 Aktenzeichen: 100 10 408.8  
22 Anmeldetag: 3. 3. 2000  
43 Offenlegungstag: 20. 9. 2001

DE 100 10 408 A 1

71 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Fix, Armin, Dr., 88662 Überlingen, DE

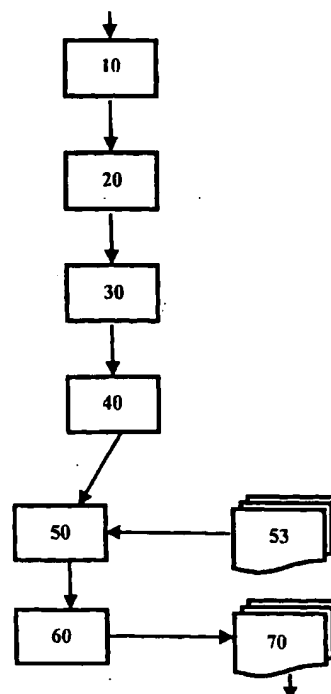
56 Entgegenhaltungen:  
US 48 58 146  
SENDER, U.: Neuer Geometriekern ermöglicht  
offene  
Systeme, ZwF 87 (1991), H. 10, S. 596-599;  
Spektrum der Wissenschaft, April 1999, S. 58;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Durchführung eines Freiheitsgrad-Managements für die Finite-Elemente-Methode zur Berechnung von Strukturen

57 Verfahren zur Durchführung des Freiheitsgrad-Managements zur Festlegung der Freiheits-Grade von Systemknoten bei FE-Programmen mit Hilfe von Elementklassen zur Bildung von Systemmatrizen aus Elementmatrizen und zur Lösung von Strukturproblemen, mit den Schritten: Definition einer Auswahl von Kinematik-Eigenschaften je verwendbarer Elementklassen sowie zugehöriger Basismasken zur mathematischen Beschreibung der Kinematik-Eigenschaften, Auswahl (20) von Teilgeometrien aus einem Konstruktionsmodell und Zuordnung geeigneter Kinematik-Merkmale zu den Teilgeometrien, Akkumulation (30) der aufgewählten Kinematik-Merkmale in den Systemknoten, Bildung (40) von Kombination-Merkmalen aus den Basismasken, Zuordnung (60) der Kombinationsmasken auf die Systemknoten aufgrund der Akkumulation (30) der Kinematik-Merkmale, Bildung (70) der Freiheitsgrad-Steuerlisten zur nachfolgenden System-Steuerung zur Problemlösung.



DE 100 10 408 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung des Freiheitsgrad-Managements zur Berechnung von Strukturen mittels der Finite-Element-Methode.

5 Zur Berechnung von Strukturen mittels der Finite-Element-Methode wird zunächst aus einem Konstruktionsmodell, das aus geeigneten Teilgeometrien üblicherweise zusammengesetzt ist, mittels vorbestimmter Verfahren, ein sogenanntes Finite-Elemente (FE)-Netz erstellt. Dabei werden in dem zu berechnenden Konstruktionsmodell systematisch Knotenpunkte definiert, deren Verbindungsstrecken das FE-Netz ergeben. Dabei kann die Festlegung der Knoten von einer Vorbestimmung von zu wählenden Finiten-Elementen bzw. von bestimmten Element-Typen abhängen. Neben der Strukturvernetzung, den Knotenpunkten und der Element-Typisierung sind zur Durchführung der FE-Methode noch die Freiheitsgrade jedes Knotenpunktes des FE-Netzes festzulegen. Aus diesen Freiheitsgraden wird dann ein System von Gleichungen gebildet, die zur Lösung der FE-Aufgabe führen. Diese Lösung beschreibt den Verformungszustand der Struktur unter angenommenen Belastungen. Aus dieser kinematischen Lösung lassen sich alle weiteren Problemstellungen beantworten, beispielsweise Spannungszustände, Schwingungsverhalten, Beulverhalten der zu berechnenden Struktur oder  
15 des Konstruktionsmodells oder Teilen des selben.

Die Arten der den Knotenpunkten des FE-Netzes zugeordneten Freiheitsgrade werden von der Problemstellung und den verwendeten Elementklassen des FE-Netzes bestimmt. Aufgrund der Lösungen der kinematischen Gleichungen, die sich aus der Definition der Freiheitsgrade ergibt, wird unter Berücksichtigung der angenommenen Belastung, der Geometrie, das heißt des FE-Netzes, und der Materialeigenschaften für verwendeten Finiten-Elemente das kinematische Deformationsverhalten ermittelt.  
20

Bei FE-Programmen nach dem Stand der Technik müssen die Freiheitsgrade je Knotenpunkt des FE-Netzes vom Benutzer im einzelnen von Hand eingegeben werden. Diese Vorgehensweise führt bei aufwendigen Konstruktionsmodellen und insbesondere bei modernen Elementen mit höherwertigen Ansätzen zu Fehlerquellen, die nicht akzeptiert werden können. Unter einem höherwertigen Ansatz wird in diesem Zusammenhang ein Ansatz für die Freiheitsgrade der jeweiligen Knotenpunkte verstanden, bei denen über die üblicherweise festgelegten drei Translationen und drei Rotationen hinaus zusätzlich Ableitungen der ersten und eventuell höherer Ordnung dieser Freiheitsgrade entstehen, zum Beispiel die erste und zweite Ableitung nach den Raumkoordinaten des jeweiligen Knotenpunkts oder auch Dehnungskomponenten.  
25

Aufgrund der Vielzahl der Einzel-Freiheitsgrade, die bei solchen FE-Netzen auftritt, ist eine manuelle Auswahl oder Zuordnung der möglichen Freiheitsgrade auf die einzelnen Knotenpunkte des FE-Netzes sehr aufwendig, weil die Freiheitsgradsätze exakt und eindeutig zu bestimmen sind, um das Kinematikverhalten der zu berechnenden Struktur oder des Berechnungsmodells korrekt zu simulieren.  
30

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem die Definition und Zuordnung der Freiheitsgrade auf die Knotenpunkte eines zu berechnenden FE-Netzes vereinfacht wird.

35 Erfindungsgemäß werden die Geometriedaten, Merkmale, Eigenschaften und Attribute des Konstruktionsmodells und des zugehörigen Historienbaums gezielt übernommen, ergänzt und daraufhin die Freiheitsgradsätze für die Knotenpunkte aufgebaut.

Ein Vorteil der Erfindung ist, daß mit diesem Verfahren die Zahl der Fehler bei der Definition der Freiheitsgrade mit großer Zuverlässigkeit reduziert wird.

40 Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, daß bei systematischen Änderungen des zu berechnenden FE-Netzes nur noch ein geringer Arbeitsaufwand nötig ist. Beispielsweise beim Übergang von einer Symmetrie auf eine Antisymmetrie von Teilstrukturen oder ganzen Strukturen sind nur wenige Eingaben durch den Benutzer vorzunehmen, um die Freiheitsgrade für das FE-Netz neu zu definieren und zuzuordnen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der beiliegenden Figur beschrieben, die ein Ablaufschema des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt.  
45

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird in einem ersten Schritt 10 aus für den Benutzer verfügbaren Teilgeometrien, d. h. aus der mathematischen Formulierung von Struktur-Bauteilen mittels bekannter CAD-Verfahren ein Konstruktions- oder Berechnungsmodell gebildet. Dabei kann der Benutzer beispielsweise aufgrund logischer Operationen auch für den weiteren Ablauf, insbesondere zur Definition geometrischer oder kinematischer Randbedingungen, weitere Teilgeometrien definieren. Dies kann zum Beispiel durch die Bildung von Verschneidungen oder die Vornahme von Bereichsbegrenzungen von Volumina oder Flächen geschehen. Dieser Schritt kann auch als eine Vorstufe des FE-Berechnungsverfahrens angesehen werden. Dabei sind die Strukturbauteile einfache Geometrieelemente, wie zum Beispiel Zylinder, Kugeln, Flächen, Strecken Volumina, die zur Konstruktion der zu berechnenden Struktur vorliegen und eine einfache und effiziente Bildung des Konstruktionsmodells ermöglichen. In diesem Schritt 10 wird aus dem Konstruktionsmodell üblicherweise mittels entsprechender Programme unter bestimmten Vorgaben ein FE-Netz generiert. Das FE-Netz umfasst Knotenpunkte oder Systemknoten, die geometrische Punkte des Berechnungsmodells darstellen und über Strecken miteinander verbunden sind. Diese Streckenelemente bilden die finiten Elemente des FE-Netzes. Die Bildung der System-Knoten erfolgt unter der Angabe von Vorgabebedingungen wie einer Referenzzahl für spezielle System-Knoten oder bestimmende Netzeigenschaften oder Relationen, zum Beispiel, Winkel-, Dicken- und Seiten-Verhältnisse der finiten Elemente. Diese FE-Netz-Informationen werden in Form von Knoten-Steuerlisten gespeichert.  
50  
55  
60

In einem weiteren Schritt 20, in dem eine Zuordnung von Kinematik-Eigenschaften für die Teilgeometrien erfolgt, identifiziert der Anwender für alle Teilgeometrien deren kinematische Globaleigenschaften, wobei die Teilgeometrien Punkte, Strecken, Flächen und Volumina sein können. Im Falle einer Verwendung von Volumina für die Teilgeometrien können diese kinematischen Globaleigenschaften alternativ oder ergänzend folgendermaßen beschrieben werden:  
65

- ungehinderte Verschieblichkeit für das Strukturbauteil im Raum,
- ebene Verschieblichkeit des Strukturbauteils entlang einer Tangenzialebene an die zu berechnende Struktur,
- feste Verankerung an eine definierte Referenzfläche zur Festlegung einer Lagereigenschaft des Struktur-Bauteils,

- Symmetrie oder Antisymmetrie des Strukturbauteils normal zu einer Referenzebene,
- gelenkige Lagerung des Strukturbauteils entlang einer Strecke,
- Zentralsymmetrie des Strukturbauteils zu einer Flächennormalen in einen FE-Systemknoten, wobei die Flächennormale eine Drehachse eines Teils des Konstruktionsmodells sein kann,
- punktförmige Stützung des Strukturbauteils in einem FE-Systemknoten,
- Definition von gemischten oder hybriden Eigenschaften, d. h. Systemknoten einer Teilgeometrie enthalten als Freiheitsgrade sowohl Verschiebungs- als auch Kraftgrößen.

Die möglichen kinematischen Eigenschaften liegen erfindungsgemäß als Basismasken, d. h. in Form einer mathematischen Formulierung von entsprechenden Freiheitsgraden, im FE-Programm vor. Diese Liste von Kinematik-Merkmalen, mit denen die Teilgeometrien des Berechnungsmodells beschrieben werden können, sind je nach Anwendungsfall des FE-Verfahrens veränderbar bzw. erweiterbar und bilden eine Tabelle oder Datei von Kinematik-Merkmalen zur Dokumentation und Unterstützung des Benutzers. Außerdem liegt eine Datei von Basismasken vor, die im einzelnen Identifizierungscodes oder Kinematikschlüssel mit den jeweiligen Kinematik-Merkmalen funktional verbunden sind.

Im Schritt 20 wählt der Anwender für jede Teilgeometrie des Konstruktionsmodells bzw. des FE-Netzes – und nicht für jeden System-Knoten, wie es nach dem Stand der Technik üblich ist – eine oder mehrere in der Kinematikliste stehenden Kinematik-Merkmale aus, versieht diese mit einem Identifikationscode oder verwendet einen jeweils bereits verfügbaren Identifikationscode, falls die Kinematikliste mit Identifikationscodes bereits versehen worden ist. Die jeweiligen Identifikationscodes werden danach den jeweiligen Teilgeometrien als Attribute zugeordnet, d. h. als Merkmale, die im weiteren Programmablauf der jeweiligen Teilgeometrie fest zugeordnet sind. Die Attribute werden in Form von Attributfeldern abgespeichert.

In einem weiteren Schritt 30 werden die Kinematik-Merkmale in den System-Knoten unter Beibehaltung der Zuordnung dieser Merkmale auf die jeweiligen Teilgeometrien akkumuliert. Dabei wird festgestellt, welchen Teilgeometrien jeder einzelne Knotenpunkt zugeordnet ist. Daraufhin werden den System-Knoten sämtliche Kinematik-Merkmale derjenigen Teilgeometrien zugeordnet, denen der System-Knoten jeweils angehört. Die für jeden System-Knoten jeweils relevanten Kinematik-Eigenschaften werden in Form von Knoten-Steuerlisten erfaßt. Dadurch ist es erfindungsgemäß nicht nötig, jedem System-Knoten im einzelnen bestimmte Kinematikeigenschaften zuzuordnen. Vielmehr ordnet das erfindungsgemäße Programm unter Verwendung der Knoten-Steuerlisten den System-Knoten des Konstruktionsmodells die relevanten Kinematik-Merkmale zu.

In einem Schritt 40 werden die Kinematik-Merkmale in sämtlichen System-Knoten des zu berechnenden FE-Netzes miteinander verglichen und die für die jeweils zu berechnende Struktur die insgesamt erforderlichen Kinematik-Kombinationen ermittelt. Dadurch wird ein Akkumulieren der Kinematik-Merkmale erreicht, wobei in jedem System-Knoten eine Kombination von Kinematik-Merkmalen, die sogenannte Kinematik-Kombination, entsteht. Deren mathematische Beschreibung im nachfolgenden Schritt 50 in Form von Kombinationsmasken erfolgt. Bei der Akkumulation zeigt sich, daß die Anzahl der bei komplexen Konstruktionsmodellen entstehenden Kinematik-Kombinationen sehr begrenzt ist, so daß eine Vielzahl von generell möglichen Kinematik-Merkmalen in den System-Knoten begrenzt wird auf eine überschaubare Anzahl von unterschiedlichen Kinematik-Kombinationen des betrachteten FE-Netzes. Diese Anzahl der wenigen unterschiedlichen Kinematik-Kombinationen wird im folgenden Kombinations-Reihe genannt. Die Kombinations-Reihe stellt also eine Verdichtung aller in sämtlichen System = Knoten vorkommenden unterschiedlichen Kinematik-Merkmale über die gesamte zu berechnende Struktur dar.

Die Kombinations-Reihe wird im Schritt 50 ausgewertet, um Freiheitsgradsätze zu bilden. Wie bereits voranstehend beschrieben, liegen die Kinematik-Merkmale, mit der die Kombinations-Reihe gebildet wird, in einer Datei von Basismasken vor. Die Liste von generell möglichen Basismasken ist in einer oder mehreren entsprechenden Tabellen 53 abgelegt. Beispielweise werden drei mögliche Zeilen einer solchen Tabelle der Basismasken im folgender Tabelle wiedergegeben, wobei eine Zeile der Tabelle jeweils eine Basismaske darstellt:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
u	$\delta u / \delta x$	$\delta u / \delta y$	$\delta u / \delta z$	v	$\delta v / \delta x$	$\delta v / \delta y$	$\delta v / \delta z$	w	$\delta w / \delta x$	$\delta w / \delta y$	$\delta w / \delta z$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	x	y	z
0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

Diese Tabelle enthält im einzelnen in der Kopfzeile einen fortlaufenden Zähler, in der zweiten Zeile eine abstrakte Benennung der Freiheitsgrade. Diese enthalten in diesem Beispiel die Freiheitsgrade der Verschiebungen und Freiheitsgrade der Ableitungen dieser Verschiebungen. Die in der Tabelle 53 angegebene Anzahl von konkreten Freiheitsgraden sind für ganz bestimmte Klassen von FE-Elementen, zum Beispiel für Volumen-Elemente mit kubischem Verschiebungsansatz, zutreffend. Für andere zur Modellierung zur Verfügung stehenden FE-Elemente ist eine andere Kombination von konkreten Freiheitsgraden vorzusehen. In dem vorliegenden Beispiel von Volumenelementen sind nun wiederum Beispiele zeilenweise angegeben, wie die einzelnen Freiheitsgrade konkret belegt sind, d. h. wie die Basismasken für die im Beispiel genannten Volumenelemente aufgebaut sind. Hierbei bedeutet in jeder Zeile eine "1", daß der jeweilige in der Spalte vorgegebene Freiheitsgrad zugelassen ist, während eine "0" bedeutet, daß der jeweilige Freiheitsgrad gesperrt ist, d. h. nicht verwendet wird. Die erste Basismaske, d. h. die dritte Zeile dieser Tabelle, beschreibt die Kinematikeigenschaft der "unbehinderten Verschieblichkeit im Raum" für Volumenelemente. Die zweite Basismaske, oder die vorletzte Zeile dieser Tabelle, beschreibt die Kinematikeigenschaft der "Symmetrie normal zur X-Y-Referenzebene" für die entsprechenden Teilflächen von Volumenelementen, d. h. deren Systemknoten. Die letzte Zeile der Tabelle be-

schreibt die Kinematikeigenschaft der "punktförmigen Stützung in einem FE-Systemknoten" von Volumenelementen.

Jede Basismaske erstreckt sich also über die gesamte Zahl aller generell zulässigen Freiheitsgrade. Ihr Aufbau hängt ausschließlich von der Art der im FE-Netz verwendeten Elementklasse, zum Beispiel Volumenelemente, Biegebalken, Schalenelemente ab und kann von Benutzer des FE-Programms keinesfalls manipuliert werden. Die Länge einer Freiheitsgradmaske hängt ab von der zu beschreibenden Klasse von FE-Elementen. Beispielsweise können neben dem voran-  
 5 stehend in Bezug auf die Freiheitsgradsätze beschriebenen kubischen Volumenelemente auch konventionelle Volumenelemente verwendet werden, bei denen nur eine beschränkte Zahl genereller Freiheitsgrade vorgesehen sind, zum Beispiel lediglich die Verschiebungen U, V, W. Das erfindungsgemäße FE-Programm ist insbesondere bei aufwendigeren Basismasken, wie z. B. bei dem beispielhaft dargestellten speziellen kubischen Volumenelement, d. h. für kubische Ansätze der Verschiebungszustände, vorgesehen. Um mathematische Ungenauigkeiten zu vermeiden, die bei der Kombination unverträglicher FE-Elementklassen entstehen können, wird bei der Modellierung eines Konstruktionsmodells im  
 10 Schritt 10 vorzugsweise nur eine Klasse von FE-Elementen verwendet.

Durch die Verwendung von Basismasken in Form von Tabellen 53 ist es möglich, daß die programmtechnisch ermittelte Reihe von Kinematik-Merkmalen, also die Kinematik-Kombinationen der Kombinationsreihe, durch eine Auswahl von Basismasken festgelegt wird. Im Schritt 50 werden daher die Basismasken zu den Kinematik-Kombinationen überlagert. Die Überlagerung der einzelnen Freiheitsgradmasken je Kinematik-Kombination erfolgt erfindungsgemäß durch die Multiplikation der einzelnen Spaltenelemente. Im voranstehenden tabellarischen Beispiel ergibt sich somit für die erste Spalte der Wert  $1 \times 0 \times 0 = 0$ . Für die zweite Spalte ergibt sich:  $1 \times 1 \times 1 = 1$ , usw. Dabei ist die Anzahl der zu überlagernden Masken – also die auf den Freiheitsgrad bezogene Spaltenlänge – ebenso unbegrenzt wie die elementklassenabhängige Länge der Masken in Zeilenrichtung, also die Anzahl der Freiheitsgrade der jeweiligen Elementklasse.  
 20

Nach dem Überlagerungsschritt liegt also pro Kinematik-Kombination der Kombinations-Reihe eine einzige Überlagerungsmaske in Zeilenform als Resultat vor, die als Kombinationsmaske bezeichnet wird. Für die jeweils vorliegende Kombinations-Reihe liegen also mehrere Kombinationsmasken vor. Eine Kombinationsmaske enthält gemäß voran-  
 stehend beschriebener Berechnung lediglich die Ziffern "0" oder "1". Hierbei bedeutet ebenfalls "0", daß der jeweilige generelle Freiheitsgrad "gesperrt" ist, und die Bezeichnung "1", daß der generelle Freiheitsgrad "zugelassen" ist.  
 25

In einem Schritt 60 wird jedem System-Knoten eine einzige Kombinationsmaske zugewiesen, d. h. die für den jeweiligen System-Knoten relevanten Kinematikeigenschaften sind in eine mathematische Formulierung von Freiheitsgraden umgesetzt. Über die Bildung von Teilgeometrien und die Zuordnung von Kinematik-Eigenschaften werden also über die Verwendung verfügbarer Freiheitsgradmasken in Abhängigkeit verwendeter FE-Elemente die Freiheitsgrade aller Systemknoten in eindeutiger Weise beschrieben.  
 30

In einem Schritt 70 werden die für die Systemlösung erforderlichen Freiheitsgrad-Steuerlisten nach dem Stand der Technik erstellt. Mit dem Vorliegen der Freiheitsgrad-Steuerlisten wird der übliche Berechnungsgang zur Berechnung von Strukturen mittels der FE-Methode fortgesetzt. Dabei werden die Systemmatrizen zur Beschreibung des Lösungsproblems unter Berücksichtigung der Belastungsmatrizen aufgebaut. In einem Lösungsschritt werden diese Systemmatrizen gelöst, d. h. Verschiebungen, Dehnungen, Spannungen oder innere Kräfte und Beschleunigungen, Geschwindigkeiten usw. errechnet.  
 35

Ein signifikanter Vorzug der sich auf das Management der Freiheitsgrade beziehenden erfindungsgemäßen Vorgehensweise besteht darin, daß systematische Kinematik-Änderungen sehr einfach vom Benutzer realisiert werden können. So kann beispielsweise eine symmetrisch erzwungene Lösungsform eines Beulproblems mit geringem Aufwand in ein antisymmetrische umgesetzt werden. Dabei ist lediglich eine einzige Kinematikeigenschaft zu verändern, d. h. in der Kombinationsreihe ist statt einen Freiheitsgradsatz zur Beschreibung eines symmetrischen Verhaltens ein antisymmetrischer Satz zu verwenden. Dies geschieht an der Stelle, an der der Benutzer den Teilgeometrien bestimmte Kinematikeigenschaften zuordnet. Alles Weitere erfolgt durch die beschriebene programmtechnische Strukturierung ohne weiteren Eingriff durch den Benutzer.  
 40

Dieses erfindungsgemäße automatische Freiheitsgrad-Management ermöglicht es auch, andere z. B. höherwertige Elemente einzuführen, ohne Änderung an der FE-Netzbeschreibung vornehmen zu müssen. In diesem Falle brauchen lediglich programmintern die Basismasken ausgetauscht zu werden.  
 45

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, daß die Zahl der Eingabefehler beim Freiheitsgradmanagement minimiert wird, da systematische Fehler am Ergebnisverhalten deutlich sichtbar werden. Die Eingaben des Benutzers beziehen sich auf die grundsätzliche Festlegung der Kinematik der Struktur. Fehler an dieser Stelle führen für das Strukturmodell zu einem völlig veränderten kinematischen Verhalten der gesamten Struktur, das sofort für den Benutzer sichtbar wird.  
 50

Vorteilhaft ist auch, daß die Anwendung des erfindungsgemäßen, automatisierten Freiheitsgradmanagements die Effizienz des FE-Programmsystems nach der Erfindung signifikant steigert, da die Vergabe von Freiheitsgraden sehr einfach und für den Benutzer transparent erfolgt. Auf diese Weise werden zusätzlich Eingabefehler minimiert.  
 55

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Durchführung eines Freiheitsgradmanagements kann in verfügbare FE-Programmsysteme nach dem Stand der Technik ohne großen Aufwand aufgenommen und integriert werden, da das erfindungsgemäße Freiheitsgradmanagement üblicherweise in FE-Programmen verwendeten Module zugeordnet werden können, die durch die Erfindung zu ersetzen sind.  
 60

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die automatische Anpassung der Freiheitsgrade in den Systemknoten, wenn für ein bereits erstelltes Berechnungsmodell neue Elementklassen vorzusehen sind, da für diesen Fall im wesentlichen nur die Basismasken zu ändern sind. Insbesondere können dabei alte Eingabe übernommen werden.  
 65

Durch den systematischen Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine fortlaufende Entwicklung, d. h. Präzisierung oder Erweiterung der kinematischen Strukturbeschreibung ohne Änderung von bereits in vorangegangenen Schritten erfolgten Definitionen ist durch einfaches Hinzufügen zusätzlicher kinematischer Merkmale, d. h. der kinematischen Randbedingungen möglich. Dadurch wird eine Fehlerminimierung erreicht.

1. Verfahren zur Durchführung des Freiheitsgrad-Managements zur Festlegung der Freiheitsgrade von Systemknoten bei FE-Programmen mit Hilfe von Elementklassen zur Bildung von Systemmatrizen aus Elementmatrizen und zur Lösung von Strukturproblemen, mit den folgenden Schritten:

- Definition einer Auswahl von Kinematik-Eigenschaften je verwendbarer Elementklassen sowie zugehöriger Basismasken zur mathematischen Beschreibung der Kinematik-Eigenschaften,
- Auswahl (20) von Teilgeometrien aus einem Konstruktionsmodell zur Vereinfachung der kinematischen Beschreibung derselben und Zuordnung geeigneter Kinematik-Merkmale zu den Teilgeometrien,
- Akkumulation (30) der ausgewählten Kinematik-Merkmale in den Systemknoten,
- Bildung (40) von für die gesamte zu berechnende Struktur relevanten Kinematik-Kombinationen aus den Kinematik-Merkmalen,
- Bildung (50) von Kombinations-Masken durch Multiplikation der Komponenten der Basismasken,
- Zuordnung (60) der Kombinationsmasken auf die Systemknoten aufgrund der Akkumulation (30) der Kinematik-Merkmale,
- Bildung (70) der Freiheitsgrad-Steuerlisten zur nachfolgenden System-Steuerung zur Problemlösung.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

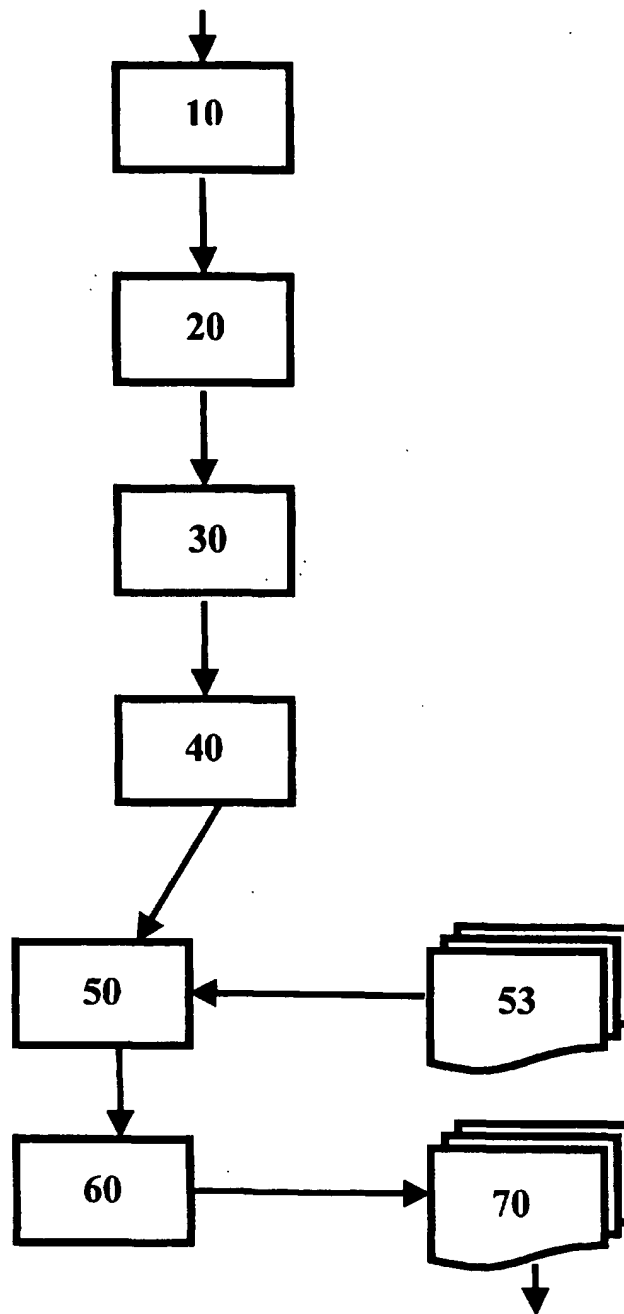


Fig.

**Degree of freedom management method for finite-element (FE) calculation of structures, requires selecting part-geometries from design model in order to simplify the kinematic description of the design model**

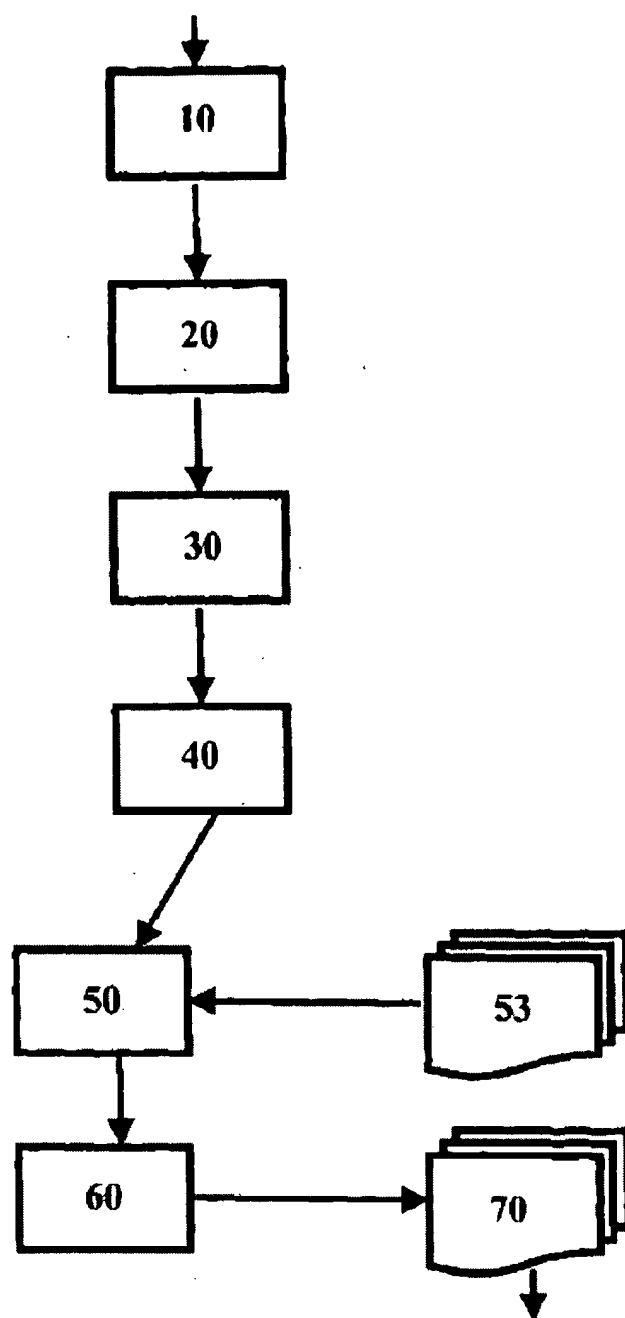
**Patent number:** DE10010408  
**Publication date:** 2001-09-20  
**Inventor:** FIX ARMIN (DE)  
**Applicant:** DAIMLER CHRYSLER AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** **G06F17/50; G06F17/50; (IPC1-7): G06F17/50**  
- **european:** G06F17/50C2  
**Application number:** DE20001010408 20000303  
**Priority number(s):** DE20001010408 20000303

**[Report a data error here](#)**

**Abstract of DE10010408**

Associated base masks initially selected for mathematically describing defined selected kinematic properties and then the part-geometries selected (20) to form the design model, followed by accumulating (30) selected kinematic features into system nodes. Combination masks are formed (50) by multiplication of base masks' components. Finally degree of freedom control-lists system are formed (70).





---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide